

## **Schalltechnischer Messbericht** **Projekt-Nr. R2024-08**

**Betrifft:** Mikrofone für Kirchenbeschallungen

- Vergleichende Messungen  
der Empfindlichkeiten frontal,  
der Empfindlichkeiten seitlich,  
der Empfindlichkeiten von hinten,  
und der Frequenzgänge

**Veranlasser:** Dipl.-Ing. Carsten Ruhe  
hörgerecht planen und bauen  
Beratungsbüro für Akustik  
Rethwisch 10  
25497 Prisdorf

**Daten der Messungen:** 2024-02-27  
2024-03-26  
2024-04-06  
2024-04-07  
2024-05-15

**Datum des Berichtes:** 2024-05-29

---

	Inhaltsverzeichnis	Seite
1	Aufgabenstellung	3
2	Mess- und Beurteilungs-Grundlagen	4
3	Schalltechnische Situation	5
4	Messapparatur und Messobjekte	6
5	Messverfahren	8
5.1	Messung der frontalen Empfindlichkeiten	8
5.2	Messung der Frequenzgänge	8
5.3	Messung der winkelabhängigen Empfindlichkeiten	9
6	Messergebnisse und Beurteilungen	9
6.1	Frontale Empfindlichkeiten	9
6.2	Frequenzgänge	11
6.3	Winkelabhängige Empfindlichkeiten	16
7	Zusammenfassung	18

---

	Anlagen	
	Fotos der Mikrofone und vom Messaufbau	1 bis 5

---

---

1 Aufgabenstellung

---

Im Zusammenhang mit Kirchenbeschallungen wird von den Auftraggebern immer wieder gewünscht, dass die Beschallungsanlage nicht nur eine gute Sprachverständlichkeit bei für den Gottesdienst angemessener Lautstärke erreichen soll, sondern dass sie auch für die Unterstützung von Live-Darbietungen, z. B. des Kinderchores oder von Krippenspielen, geeignet sein soll, ohne dass es dabei zu akustischen Rückkoppelungen kommt. Während der rein elektrische Teil der Übertragungsanlage für Mischung, Equalizing und Verstärkung heute unproblematisch ist, sind die akustisch-elektrischen und die elektrisch-akustischen Wandler, also die Mikrofone und die Lautsprecher, mit besonderer Sorgfalt auszuwählen und haben dann entsprechende Preise. In Anlehnung an das Sprichwort heißt es hier:

Wie man in das Mikrofon spricht, so schallt es aus dem Lautsprecher.

Etliche Beschallungsfirmen aus dem Event-Bereich schlagen für Live-Aufführungen Wandler vor, die bei „Freiluft-Veranstaltungen“ unproblematisch sind und dort als rückkoppelungssicher gelten. Sie sind aber in geschlossenen Räumen bei gottesdienstlicher Nutzung fast immer ungeeignet.

Im Zusammenhang mit der Neuplanung einiger Kirchen-Beschallungsanlagen wurde die Möglichkeit genutzt, einige bei mir zu Demonstrationszwecken vorhandene Mikrofone vergleichend zu untersuchen. Besonders interessierte dabei ein „Neuzugang“, der anlässlich einer Einmessung von der ausführenden Firma vorgestellt wurde und mir bis dahin unbekannt war.

Bei meinen Messungen handelt es sich nicht um Untersuchungen im reflexionsfreien Schallmessraum wie bei den Mikrofon-Herstellern, sondern um „ingenieurmäßig vereinfachte“ Messungen. Genaueres dazu folgt weiter unten.

---

2 Mess- und Beurteilungs-Grundlagen

---

Die Schallmessungen und die Begutachtung erfolgen nach bzw. in Anlehnung an die unten aufgeführten Normen, Richtlinien und Veröffentlichungen.

**DIN 45641:1990-06**

Mittelung von Schallpegeln

**C. Ruhe** im DSB-Fachreferat „Barrierefreiheit und  
**S. Karg** in „Pro Audio Schweiz“  
referATgeber 5 „Mikrofone für Beschallungsanlagen“  
Deutscher Schwerhörigenbund e.V. (2016)

**J. Meyer**

Kirchenakustik

Verlag Erwin Bochinsky, Frankfurt am Main (2003)

**K. Eggenschwiler**

Beschallungsanlagen für Sprache, Empfehlungen für Architekten und Bauherren,  
Schweizerische Gesellschaft für Akustik (2001)

**J. Meyer**

Akustik und musikalische Aufführungspraxis

Verlag Erwin Bochinsky, Frankfurt am Main, 2. Aufl. (1980)

**L. Cremer, H.A. Müller**

Die wissenschaftlichen Grundlagen der Raumakustik

Band I, S. Hirzel-Verlag, Stuttgart (1978)

Soweit erhältlich werden auch die technischen Daten herangezogen, welche von den Herstellern bekanntgegeben werden.

---

### 3 Schalltechnische Situation

---

Die vergleichenden Messungen fanden in einem reflexionsarmen Freifeld-Halbraum statt. Es ist der (am Wochenende leere) Parkplatz einer in der Nähe gelegenen Grundschule. Der Boden ist mit Betonsteinen gepflastert. Schallreflektierende Gebäudeflächen sind vom Messpunkt alle mehr als 10 m entfernt und so ausgerichtet, dass keine Schallrückwürfe zum Messpunkt erfolgen. Siehe hierzu die Fotos in den **Anlagen 1 bis 3**.

Zunächst wurden drei konzentrische Kreise mit Radien von 1,0 m, 2,0 m und 3,16 m aufgezeichnet und jeweils in Winkeln von 15° unterteilt. Bei den größeren Abständen als 1,0 m fallen geringe Ungenauigkeiten bei der Ermittlung der Winkel nicht so ins Gewicht, wie bei 1,0 m. Die genannten Radien wurden gewählt, weil rechnerisch relativ einfache Pegelverhältnisse von -6 dB bzw. -10 dB gegenüber 1,0 m Abstand bestehen sollen.

Im Mittelpunkt der Kreise befand sich jeweils die Membran-Position des zu untersuchende Mikrofones, das in Bodennähe auf einem Stativ montiert war, um sonst unvermeidliche Mess-Ungenauigkeiten durch leichte Bewegungen zu vermeiden. Die Mikrofon-Achse wurde jeweils (mit einer Ausnahme) auf die 0°-Position ausgerichtet.

Zufällig stellte eine der zu beratenden Kirchengemeinden ein dort während der Bauzeit nicht benötigtes weiteres Mikrofon zur Verfügung. Zu diesem Zeitpunkt war aber der für die ersten Messungen verwendete Parkplatz durch Bauarbeiten blockiert. Ersatzweise fanden diese Messungen dann auf einer großen Rasenfläche in 1,4 m Höhe über dem Boden statt. Vergleiche hierzu die Fotos in den **Anlagen 4 und 5**.

4 Messapparatur und Messobjekte

Für die Erzeugung, Abstrahlung und Aufnahme der Messgeräusche standen folgende Apparaturen zur Verfügung:

Messgeräte	Fabrikat	Typ	Serien-Nummer
Tongenerator Minirator	NTi	MR-PRO	G2P-XCHWH-F2
Aktiv-Nahfeld-Monitor mit gerichteter Abstrahlung	Fostex	6301 NX	0978623KA
Audio- und Akustik-Analysator Klasse 1 nach IEC 61672	NTi	XL2	A2A-02189-C0

Mit dieser Apparatur wurden vergleichend folgende Mikrofontypen gemessen:

Mikrofone	Fabrikat	Typ	
Mikrofon mit Vorverstärker 1/2“ Klasse 1 nach IEC 61672	NTi	ME 2211	
Elektret-Kondensator-Mikrofon	AKG	C1000S	alte Bauform
Elektret-Kondensator-Mikrofon	AKG	C1000S	neue Bauform
Dynamisches Mikrofon	Shure	SM58 Beta	
Kondensator-Gruppen-Mikrofon	AVE	ACM 160/GM	
Kondensator-Rohr-Richtmikrofon	AT	ES915S	

Das NTi-Messmikrofon, welches zu dem für die Messungen verwendeten Akustik-Analysator gehört, hat eine Empfindlichkeit von 20 mV/Pa.

Die beiden Elektret-Kondensator-Mikrofone von AKG stammen aus der Anwendung bei Aufführungen des Kinder- und Jugendchores der eigenen Kirchengemeinde. Für beide Bauformen gibt der Hersteller eine Empfindlichkeit 6 mV/Pa an. Dennoch sind Unterschiede festzustellen. Die neue Bauform enthält auch einen 10-dB-Abschwächer, der bei den Messungen ausgeschaltet war.

Das dynamische Shure-Mikrofon SM58 mit einer Empfindlichkeit von 2,7 mV/Pa (und vergleichbare Mikrofone anderer Hersteller, wie z. B. Sennheiser E 945 mit 2 mV/Pa) werden Kirchengemeinden immer wieder vorgeschlagen, wenn diese auch Aufführungen und (z. B.) Krippenspiele übertragen möchten. Als Begründung wird angeführt, dieser Mikrofontyp habe sich auf Bühnen vieltausendfach bewährt und sei deshalb „bestens“ geeignet. Bei der Sichtung von Altbeständen zu modernisierender Kirchen liegen diese Mikrofone aber „irgendwo in

der Kiste“. Eine Begründung wird sich hoffentlich durch die Messwerte ergeben. Die Aussage einer Pastorin, man müsse in dieses Mikrofon „reinbeißen“, wenn etwas herauskommen soll, gibt schon eine Ahnung. Dieses Mikrofon war das einzige dynamische in der Testreihe.

Das Kondensator-Gruppen-Mikrofon ACM 160/GM von AVE habe ich eher zufällig entdeckt, als Abnahmemessungen an einer neu installierten Beschallungsanlage erfolgten und dieses Mikrofon als Alternative zu dem ausgeschriebenen vorgeführt wurde. Es überraschte beim bloßen Anhören durch eine extreme Empfindlichkeit, die der Hersteller mit 15 m/Pa angibt. Eine Besonderheit dieses Mikrofons ist, dass es – speziell für die Abnahme von Gruppen (Konfirmanten, kleine Ensembles, Chöre) drei Kapseln in „hybridorbitaler Anordnung“ enthält. Damit ist offenbar eine Anordnung schräg zueinander in 120°-Winkeln gemeint. Die Richtcharakteristik wird vom Hersteller mit einer „breiten Niere“ angegeben.

Gerne hätte ich zum Vergleich auch das bei mir noch vorhandene Kondensator-Array-Mikrofon RM 30 mit einer Empfindlichkeit von 28 mV/Pa von Beyerdynamic gemessen. Das war aber nicht möglich, weil man für dieses Mikrofon keinen Windschirm bekommt, der aber bei diesen Messungen im Freien unerlässlich war. Die Messungen wären ohnehin nur „in seliger Erinnerung“ sinnvoll gewesen, denn dieser Mikrofontyp ist leider nicht mehr erhältlich. Vermutlich war es mit seiner ungewöhnlichen Bauweise mechanisch nicht stabil genug gegenüber einer Falsch-Anwendung durch Unwissende.

Bei diesen Messungen wurden ausschließlich kabelgebundene Mikrofone untersucht. Bei Funk-Mikrofonen können nämlich in der Übertragungskette mit Sender und Empfänger nicht überschaubare Verstärkungen oder Abschwächungen auftreten, die dann nicht mehr die Mikrofonempfindlichkeit charakterisieren.

In Kirchen kommen häufig an Altar, Kanzel und Lesepult/Ambo auch Mikrofonkapseln oder Rohr-Richtmikrofone mit Schwanenhals zum Einsatz, bisweilen auf dem Altartisch aus gestalterischen Gründen auch Grenzflächenmikrofone. Keinen dieser Typen habe ich in meinem Besitz, konnte sie also zunächst auch nicht messen. Wie oben bereits erwähnt, stand dann aber zufällig doch noch ein ES915S von Audio Technika zur Verfügung. Deshalb wurden nachträglich einige Messungen noch eingeschoben.

---

## 5 Messverfahren

---

### 5.1 Messung der frontalen Empfindlichkeiten

Als erstes wurde das zum NTi-Akustik-Analysator gehörende Messmikrofon untersucht. Siehe hierzu die beiden Fotos in **Anlage 2**. Der Lautsprecher war auf einen Freifeld-Schallpegel von 80 dB(A) in 1,0 m Abstand kalibriert und strahlte – auf dem Boden stehend – zunächst aus 3,16 m Abstand, bei den folgenden Messreihen dann aus 2,0 m und 1,0 m Abstand in Richtung zum Mikrofon. Hierbei wurde die Situation einer „Grenzfläche“ angenähert, um Verfälschungen der Frequenzgänge durch Laufzeit-Interferenzen möglichst weitgehend zu vermeiden. Weil innerhalb der drei Messreihen von 3,16 m, 2,0 m und 1,0 m nur sehr geringe relative Abweichungen (von der ohnehin nur „ingenieurmäßigen Genauigkeit“ festgestellt wurden, fanden alle folgenden Messungen ausschließlich auf dem Kreis mit 2,0 m Radius statt.

Alle genannten Mikrofon-Typen wurden mit axialer Ausrichtung auf die 0°-Stellung gemessen. Beim ACM 160/GM von AVE erfolgte eine weitere Messung mit vertikaler Achse. Das war interessant, weil drei Mikrofonkapseln „im Dreieck“ eingebaut sind. Der Abstand des Gitters vom Boden war so gering, wie der zusammengedrückte Windschirm dick ist. Siehe hierzu das Foto in **Anlage 3** unten. Die vergleichenden Messungen der frontalen Empfindlichkeit fanden bei Aufstellung des Messlautsprechers in der 0°-Richtung vor der jeweiligen Mikrofonachse statt. Siehe hierzu **Anlage 2** unten und **Anlage 3** oben.

Bei den nachträglichen Messungen an einem Kondensator-Rohr-Richtmikrofon standen der Lautsprecher und das Mikrofon jeweils auf Stativen in 1,4 m Höhe über einer Rasenfläche, siehe **Anlage 5**. Weil hier im Vergleich zu den vorangegangenen Messungen die Bodenreflexion fehlte, war der Schallpegel am Mikrofonort um 2 dB geringer. Das Rauschsignal wurde um den entsprechenden Betrag angehoben.

### 5.2 Messung der Frequenzgänge

Anders als im Labor wurden die Frequenzgänge der Mikrofone nicht mit einem „gleitenden Sinus“ gemessen, sondern bei der Beschallung mit Rosa Rauschen vom Messlautsprecher als Terz-Spektren ausgewertet. Sie wurden zeitgleich mit den Messungen nach 5.1 erfasst. Weil der verwendete Messlautsprecher

unter 100 Hz keine nennenswerten Schallpegel abstrahlt, beginnen die Diagramme der Messwerte erst bei 63 Hz und nicht schon bei 25 Hz. Das ist weiterhin auch deshalb sinnvoll, weil unterhalb von 63 Hz immer wieder wechselnde Winde – trotz der Windschirme – zu den unterschiedlichsten Störungen führten, welche mit den eigentlichen Messergebnissen nichts zu tun haben.

### 5.3 Messung der winkelabhängigen Empfindlichkeiten

Anschließend wurde der Lautsprecher sukzessive von der 0°-Stellung ausgehend zunächst in positiver und danach – wiederum von 0° ausgehend – in negativer Richtung um 15° weitergerückt. Auf diese Weise liegen für jeden Winkel zwei Messwerte ( $\pm 15^\circ$  usw.) vor. Auch bei 0° und 180° wurden so zwei Werte erfasst. Mit letzteren ließ sich die Wiederhol-Genauigkeit ermitteln ( $\pm 0,2$  dB). Alle Wertepaare wurden bei der späteren Auswertung energetisch gemittelt.

Bei den „nachgeschobenen“ Messungen am Rohr-Richtmikrofon über der Rasenfläche musste improvisiert werden. Hier war nämlich ein Anzeichnen von Abständen und Winkeln nicht möglich. Deshalb wurde im vorderen Bereich bis  $\pm 15^\circ$  möglichst genau gemessen, weiter seitlich in größeren Winkel-Abständen und hinten gar nicht.

---

## 6 Messergebnisse und Beurteilungen

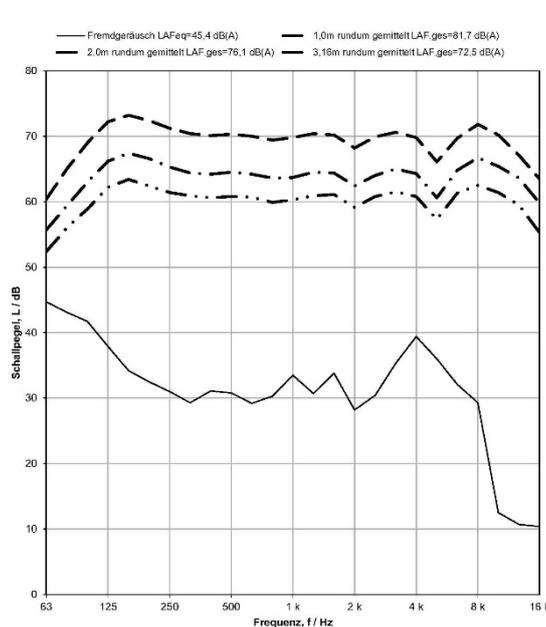
---

### 6.1 Frontale Empfindlichkeiten

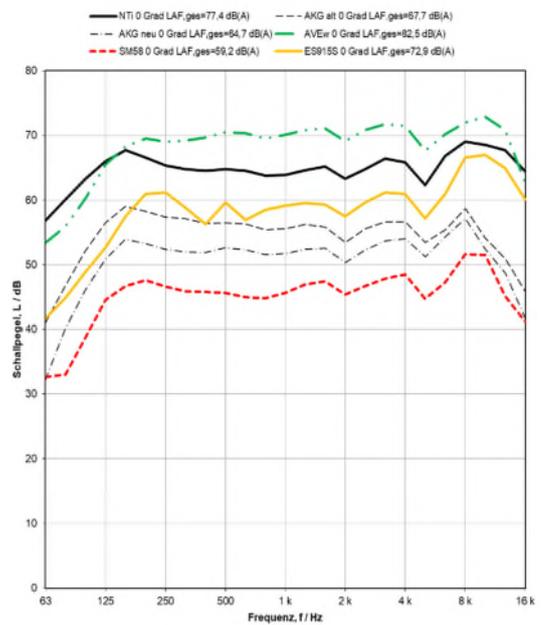
Da mit einem (im interessierenden Frequenzbereich) linearen Rauschen ange-regt wurde, reicht es aus, zur Charakterisierung der unterschiedlichen Pegel in verschiedenen Abständen sowie der Empfindlichkeiten der verschiedenen Mikrofon-Typen die A-bewerteten Gesamtschallpegel miteinander zu vergleichen. Für das NTi-Messmikrofon lauten die Schallpegel:

Mikrofone	Abstand	Pegel	Differenz
Kondensator-Mess-Mikrofon	1,00 m	82 dB(A)	---
Kondensator-Mess-Mikrofon	2,00 m	76 dB(A)	-6 dB
Kondensator-Mess-Mikrofon	3,16 m	72 dB(A)	-10 dB
Fremdgeräusch (Wind, Vögel)		45 dB(A)	>>-20 dB

Obwohl bei allen Messungen der Lautsprecher auf einen Freifeld-Gesamt-schallpegel von 80 dB(A) in 1,0 m Abstand kalibriert war, ergab sich hier beim gleichen Abstand ein Pegel von 82 dB(A), also 2 dB mehr. Nach der Theorie der Grenzfläche müssten es eigentlich 3 dB sein. Möglicherweise haben die Betonsteine des für die Messungen verwendeten Parkplatzes eine geringe Absorption. Bei den vergleichenden Messungen ist das unerheblich. Bei der Messung des Rohr-Richtmikrofons wurde der „Sendepiegel“ um diese 2 dB korrigiert, um wieder gleiche Pegelverhältnisse zu schaffen.



NTi-Messmikrofon verschieden Abstände  
**Abbildung 1**



sechs Mikrontypen 2,0 m Abstand  
**Abbildung 2**

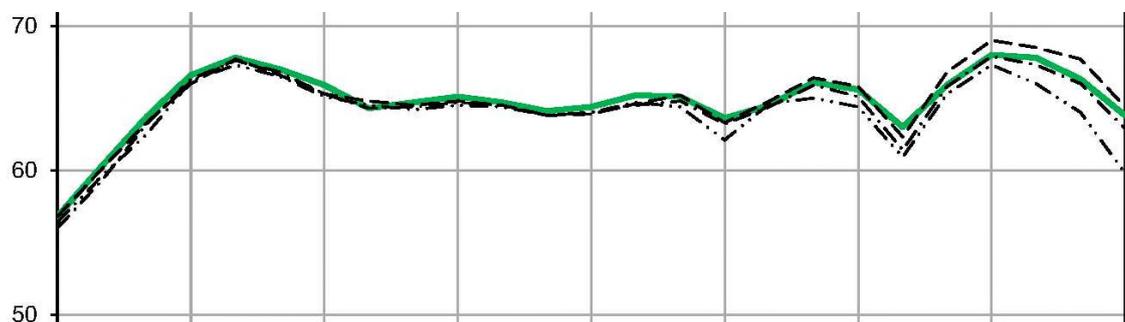
Die Messwerte für die sechs verschiedenen Mikrofone gemäß dem rechten Diagramm wurden alle mit dem Abstand Lautsprecher-Mikrofon von 2,0 m aufgenommen. In der folgenden Tabelle sind auch die von den Herstellern angegebenen Freifeld-Übertragungsfaktoren (Verhältnis zwischen Schalldruck und elektrischer Spannung) der Mikrofon-Empfindlichkeiten mit aufgeführt:

Mikrofon	Typ	Pegel	Empfindlichk.
Kondensator-Mess-Mikrofon	ME 2211	77 dB(A)	20 mV/Pa
Kondensator-Mikrofon AKG alt	C1000S	67 dB(A)	6 mV/Pa
Kondensator-Mikrofon AKG neu	C1000S	64 dB(A)	6 mV/Pa
Dynamisches Mikrofon Shure	SM58 Beta	58 dB(A)	3 mV/Pa
Kondensator-Gruppen-Mikrofon	ACM 160/GM	82 dB(A)	15 mV/Pa
Kondensator-Rohr-Richtmikrofon	ES915S	73 dB(A)	17 mV/Pa

## 6.2 Frequenzgänge

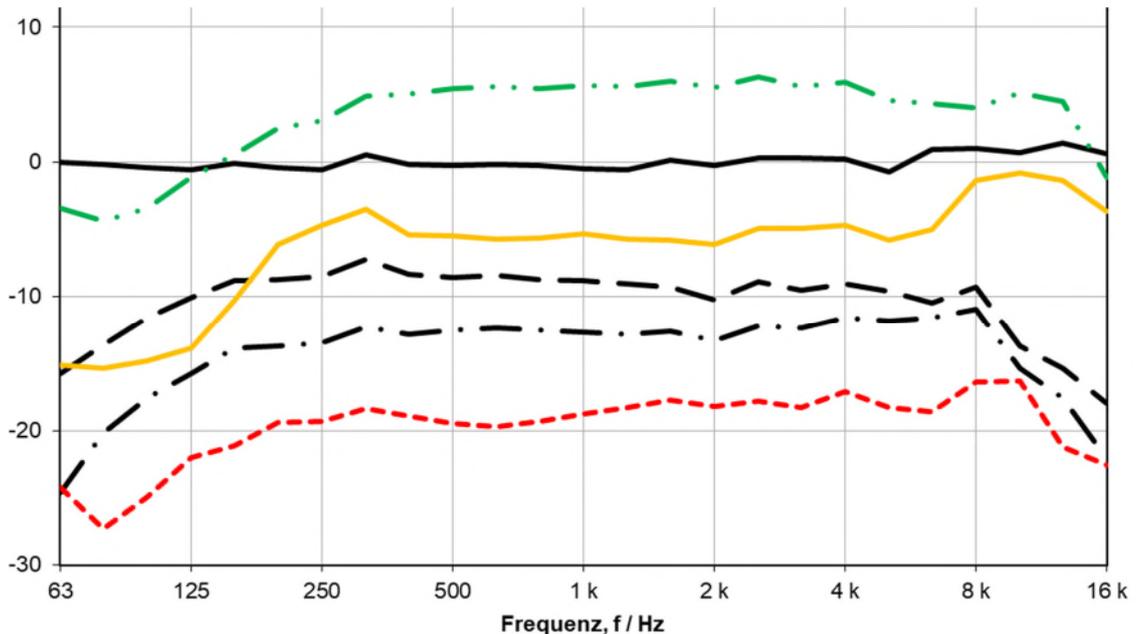
In allen oben dargestellten Spektren der von den Mikrofonen aufgenommenen Lautsprechersignale sind gleichartig Einbrüche bei 2.000 Hz und 5.000 Hz zu erkennen, jeweils gefolgt von Anhebungen bei etwa 1.500 Hz, 3.000 Hz und um 8.000 Hz. Daraus ergab sich die Frage, ob es sich hierbei um einen doch nicht ganz ausreichend linearen Frequenzgang des Studio-Monitors oder um Kammfilter-Effekte durch Interferenz-Auslöschungen zwischen direkter und am Boden reflektierter Schallwelle handelt.

Um das zu untersuchen, wurden der Lautsprecher und das Mikrofon beide in 1,75 m Höhe über dem Boden und im gegenseitigen Abstand von 2,0 m aufgestellt. Eine am Boden reflektierte Schallwelle läuft dann 4,0 m, also doppelt so weit wie die direkte Welle. Ihr Pegel ist also bereits aufgrund der Laufstrecke um 6 dB geringer. Hinzu kommt noch, dass der Lautsprecher eine deutliche Vorne-Bündelung aufweist, die bei 2.000 Hz für den Winkel von 60° größer als -10 dB ist. Bei dieser Aufstellung wird also ingenieurpraktisch ausschließlich das direkte Schallsignal des Lautsprechers erfasst.



Überprüfung des Messaufbaus: Bodenreflexion / Lautsprecher-Frequenzgang  
**Abbildung 3**

Diese mit einem grünen Kurvenzug markierte Referenzmessung lässt eindeutig erkennen, dass der spektrale Kurvenverlauf durch den Lautsprecher-Frequenzgang begründet ist und nicht durch andere Unzulänglichkeiten im Messaufbau. Deshalb sind die im Weiteren beschriebenen Frequenzgänge alle mit dem Referenzspektrum korrigiert und werden dadurch relativ zu  $\pm 0$  dB angegeben. Damit verändert sich die obige Abbildung aus Kapitel 6.1 rechts wie folgt:



Schallpegel auf Referenz-Frequenzgang bezogen

#### Abbildung 4

Zunächst ist festzustellen, dass mit diesem „Trick“ der Frequenzgang des NTi-Messmikrofons (natürlich) fast horizontal auf der 0-dB-Linie verläuft. Die beiden AKG-Mikrofone (schwarze gestrichelte und strichpunktierte Kurven) verlaufen im Mittel etwa 10 dB bzw. 13 dB niedriger und nach der roten Kurve liegt das „bühnenerprobte“ Shure SM58 abgeschlagen 20 dB unter dem Messmikrofon. Eine hier im optischen, tatsächlich aber auch im akustischen, Sinne „herausragende“ Rolle spielt dagegen nach der grünen Kurve das ACM 160/GM von AVE.

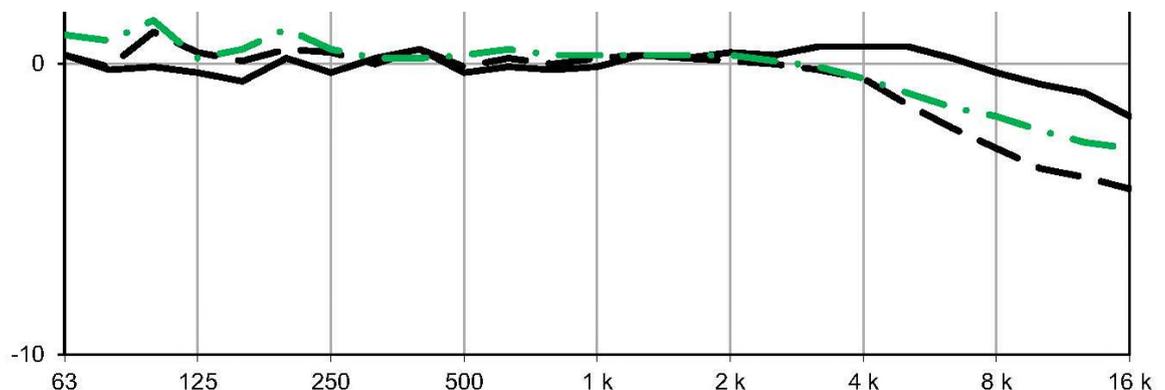
Das orange markierte Rohr-Richtmikrofon ES915S ist etwas empfindlicher als die beiden AKG-Mikrofone. Nach der vom Hersteller angegebenen Empfindlichkeit hätte man noch 2 bis 3 dB mehr erwarten dürfen. Die Anhebung des Frequenzganges um 10.000 Hz hat für die Sprachdeutlichkeit keine großartige Wirkung. Eine Anhebung zwischen 2.000 Hz und 5.000 Hz wäre hilfreicher.

Die Frequenzgänge der beiden AKG-Mikrofone (alt gestrichelt, neu strichpunktiert) liegen nochmals um 3 dB auseinander, obwohl der Hersteller damals wie heute eine Empfindlichkeit von 6 mV/Pa angibt. Möglicherweise hat sich an der Bauart der Kapsel gar nichts geändert. Vermutlich aber am nachgeschalteten Verstärker. Das könnte der Umstellung der Batterien für die Phantomspeisung von ehemals 9 V-Block auf jetzt 2 x 1,5 V AA geschuldet sein, weil so die Betriebsdauer gleich bleibt. Schade, denn bei externer Phantomspeisung, wo die Betriebsdauer keine Rolle spielt, fehlt jetzt was.

Nach den Messergebnissen fallen die Frequenzgänge beider Mikrofone oberhalb von 8.000 Hz steil ab. Für Sprache wäre das gerade noch vertretbar, für brillante Geigensoli aber nicht. Möglicherweise ist dies aber auch ein von mir selbst erzeugter Messfehler. Wegen des böigen Windes während einiger Messungen habe ich nämlich den sehr dünnen AKG-Windschirm zusätzlich mit dem gelben Schaumstoffball abgedeckt, der auf den Fotos in **Anlage 3** zu sehen ist. Was bei den tiefen Frequenzen hilfreich war, war bei den hohen ggfs. zu viel des Guten?

Denselben Windschirm habe ich wegen der Windböen im Freifeld auch dem ACM 160/GM „verpasst“, welches serienmäßig gar keinen besitzt. Bei einer „bestimmungsgemäßen“ Anwendung braucht es den auch nicht, denn diese Mikrophon wird nur in geschlossenen Räumen verwendet und die sprechenden Personen können so große Abstände davor einnehmen, dass Popp-Geräusche nicht auftreten.

Um der Frage nach dem Windschirm-Einfluss nachzugehen, fanden vergleichende Messungen an den drei Mikrofonen von NTi, AKG-neu und ACM jeweils ohne Windschirm sowie mit der bei den Messungen verwendeten doppelten Windschirm-Ausrüstung statt. Die Differenzen „mit-ohne“ zeigt das folgende Diagramm.



**Einfluss der (doppelten) Windschirme bei NTi, C1000 neu und ACM 160/GM**  
**Abbildung 5**

Der kleine Schaumstoffball von NTi hat auf dem Messmikrofon nach der schwarzen durchgezogenen Kurve eine fast zu vernachlässigende Wirkung. Der „doppelte“ Windschirm auf dem AKG-Mikrofon macht sich gemäß der gestrichelten Kurve bereits ab 4.000 Hz bemerkbar mit einem Abfall bis auf knapp -5 dB bei 16.000 Hz. Mit derselben Windschirm-Kombination kommt das AVE-Mikrofon gemäß der grünen strichpunktierten Linie besser zurecht. Weil der

Korb kleiner ist als beim AKG-Mikrofon ist der Schaumstoff nicht so stark gepresst und bleibt ggfs. offenerporiger.

Der durch den Windschirm bewirkte Abfall von 8.000 Hz bis 16.000 Hz beträgt bei dem AKG-Mikrofon nur etwa 1,5 dB. Er kann also nicht für den steilen Abfall ab 8000 Hz in **Abbildung 4** verantwortlich sein. Der ist dann wohl doch durch die Mikrofon-Kapsel bewirkt.

Bei vorbereitenden Messungen in einem geschlossenen Raum habe ich die verschiedenen Mikrofone (und dort auch das Arraymikrofon Beyerdynamic Classis RM30) aus 1,0 m mit der Lautstärke einer „angehobenen Stimme“ von 70 dB(A) beschallt und die erreichbaren Pegel miteinander verglichen. Daraus entstand anschließend die Idee zu den Messungen im Halb-Freifeld. Damals ergaben sich im Vergleich der Mikrofone folgende Pegel:

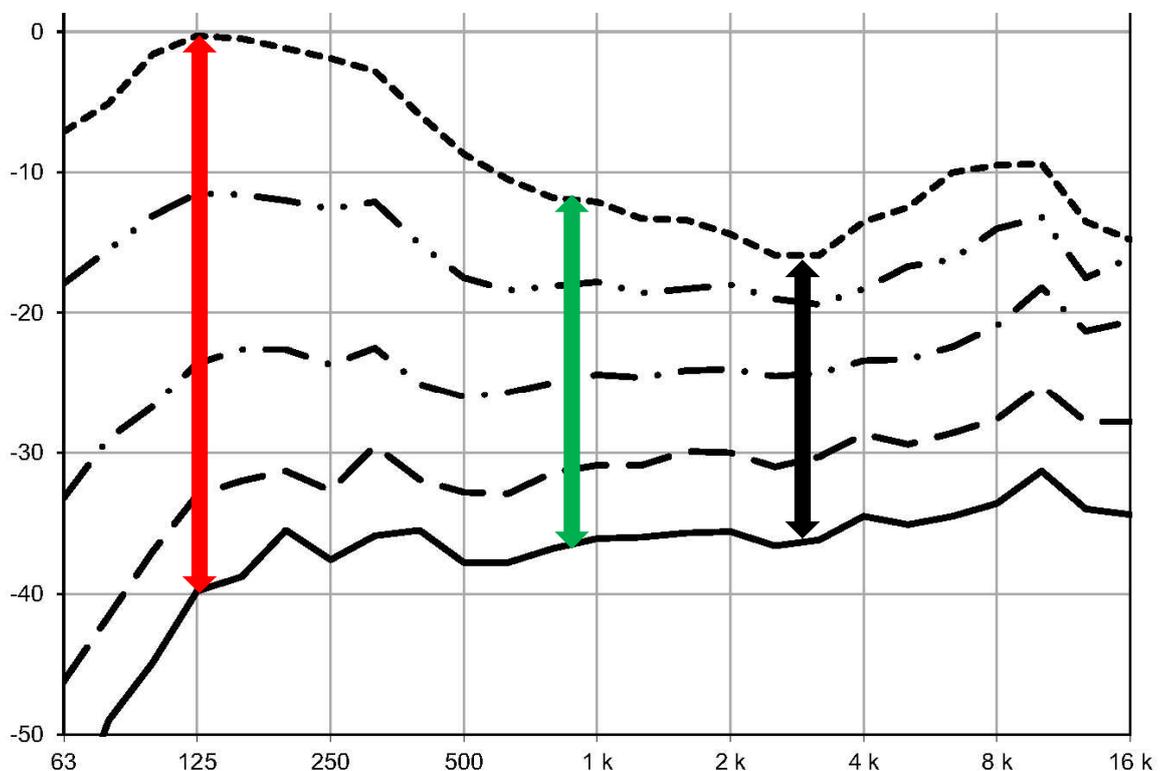
Mikrofon	Typ	Pegel	Empfindlichk.
Kondensator-Mess-Mikrofon	ME 2211	70 dB(A)	20 mV/Pa
Kondensator-Mikrofon AKG alt	C1000S	60 dB(A)	6 mV/Pa
Kondensator-Mikrofon AKG neu	C1000S	57 dB(A)	6 mV/Pa
Dynamisches Mikrofon Shure	SM58 Beta	52 dB(A)	3 mV/Pa
Kondensator-Gruppen-Mikrofon	ACM 160/GM	75 dB(A)	15 mV/Pa
Kondensator-Array-Mikrofon	Classis RM30	71 dB(A)	28 mV/Pa

Auch hier fiel schon das ACM 160/GM mit seiner besonders großen Empfindlichkeit auf und auch das Classis RM30, welches ich früher gerne in Kirchen eingesetzt habe, lieferte gute Werte. Leider ist letzteres nicht mehr lieferbar. Das SM58 von Shure ist mit nur 52 dB(A) um 18 dB leiser als der Nennpegel von 70 dB(A). Wollte man diesen Pegelverlust ausgleichen, so müsste man den Besprechungsabstand rechnerisch von (hier) 1,0 m dreimal halbieren, also über 0,50 m, 0,25 m bis auf 0,125 m. Jede Halbierung des Besprechungsabstandes hebt den Pegel um 6 dB an.

Nach **Abbildung 4** ist das SM58 von Shure (bezogen auf die Verwendung in Kirchen) ganz besonders schlecht weggekommen. Nun können dessen Befürworter natürlich einwenden, ein Besprechungsabstand von 2,0 m sei für dieses Mikrofon nicht nur unüblich, dafür sei es auch gar nicht vorgesehen. Das ist natürlich völlig richtig. In Kirchen wird es gerne vor dem Lesepult (hinter dem Lektionar) aufgestellt und damit in etwa 0,50 m Abstand von der sprechenden Person. Bei einer Bühnennutzung im Eventbereich wird es dagegen in nur 0,05 m Abstand (oder sogar noch weniger) vor den Mund genommen. Deshalb

werden den Kirchen mit solchen Mikrofonen immer wieder Stative mit Auslegerarm „verpasst“, die das Mikrofon näher heranbringen sollen. Für einen sakralen Raum ist so etwas eine gestalterische Zumutung. Außerdem behindert der Ausleger den freien Blick auf das Lektionar und auch das Umblättern.

In einer getrennten Messreihe wurden mit dem SM58 nacheinander fünf Messungen mit den Abständen 1,00 m, 0,50 m, 0,25 m, 0,10 m und schließlich 0,05 m durchgeführt. Nimmt man an, dass der 4“-Messlautsprecher sich wie eine „Punktschallquelle“ verhält (was bei den ganz kleinen Abständen nicht mehr stimmt), dann sollte der Schallpegel vom 1,00 m bis 0,10 m, also bei 1/10 des Abstandes um 20 dB zunehmen und bis 0,05 m um 26 dB.



Shure SM58 in 1,00 m, 0,50 m, 0,25 m, 0,10 m Abstand; gut zu erkennen ist die kräftige Bass-Anhebung

### Abbildung 6

Bei 800 Hz stimmt diese physikalische Rechnung zwar (grüner Pfeil) aber bei 126 Hz nimmt der Pegel um 40 dB zu (roter Pfeil), also 14 dB stärker, was man als „Bass-Anhebung“ bezeichnet. Ein „satter Bass“ ist auf der Bühne bisweilen gewollt. Viel schlimmer ist aber – in Bezug auf die Sprach-Anwendung in Kirchen – nochmals, dass gerade der für die Sprachverständlichkeit so wichtige Frequenzbereich zwischen 2.000 Hz und 4.000 Hz bei der Nahbesprechung am leisesten ist (schwarzer Pfeil).

Betrachtet man den Frequenzgang für den „Lese-pult-Abstand“ von 0,50 m (zweite Kurve von unten) dann ist der zwar recht linear, sogar mit einem für Sprache vorteilhaften leichten Anstieg zu den hohen Frequenzen, aber der damit erzielbare Pegel ist viel zu gering. Geht man auf den oben errechneten Abstand von etwa 0,125 m (zweite Kurve von oben), dann dominieren schon die Bässe und die Verständlichkeit sinkt.

Das ACM 160/GM von AVE mit einer nominellen Empfindlichkeit von 15 mV/Pa hat nach Kapitel 6.1 einen Gesamtschallpegel von 82 dB(A) erreicht und ist damit um 5 dB lauter als das NTi-Messmikrofon, obwohl das sogar eine Empfindlichkeit von 20 mV/Pa hat. Eigentlich müsste das ACM 160/GM um knappe 3 dB leiser sein als das Messmikrofon. Hat der Hersteller bei der Angabe der Empfindlichkeit vielleicht nicht daran gedacht, dass hier die drei schräg zueinander im Dreieck angeordneten Kapseln gemeinsam wirken und sich damit aus der Überlagerung eine Empfindlichkeit von knapp 40 mV/Pa ergibt? Bereits einleitend hatte ich erwähnt, dass mich dieses Mikrofon, welches ich nur durch Zufall kennengelernt habe, schon beim bloßen Anhören wegen seiner extremen Empfindlichkeit in Erstaunen versetzt hat. Die Messergebnisse bestätigen das jetzt!

### 6.3 Winkelabhängige Empfindlichkeiten

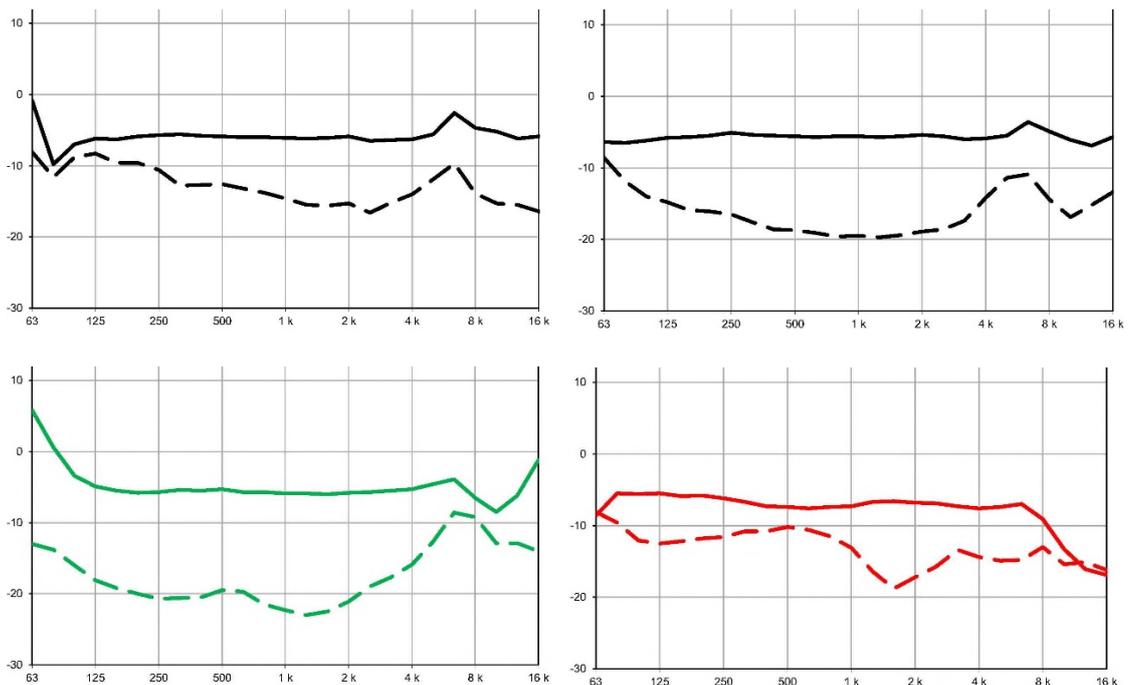
Die meisten der hier überprüften Mikrofone werden bei kirchlichen Handlungen verwendet, bei denen die Anwendung mehr oder weniger mobil erfolgt (auf einem freistehenden Stativ oder sogar in der Hand gehalten. Nur das Rohr-Richtmikrofon ist für die Aufstellung an festen Plätzen gedacht (Kanzel, Lese-pult/Ambo, Altar). Bei den mobilen Anwendungen kommt es nicht „so ganz genau“ auf das Besprechen in der 0°-Achse an, sondern mehr auf gewisse Winkelbereiche von vorne, während Rückkoppelungen aus den Lautsprechern eher von der Seite und sogar fast von hinten (also aus Richtung zur Gemeinde) entstehen können. Wenn eine Band mitwirkt, wird die meistens seitlich platziert. Hier ist von Interesse, wie stark insbesondere ein Schlagzeug auf die Chor-Mikrofone einwirkt.

Deshalb wurden die winkelabhängig in 15°-Schritten aufgenommenen Messwerte „ganz wild“ über den vorderen Bereich (von 0° bis ±45°), die seitlichen Bereiche (von ±60° bis ±120°) und den hinteren Bereich (±135° bis ±180°) gemittelt. Diese Mittelwertbildungen erfolgten für das AKG-Mikrofon C1000 in alter und neuer Bauweise, das AVE-Mikrofon ACM 160/GM und das Shure-Mikrofon SM58. Das NTi-Messmikrofon mit Kugelcharakteristik und auch das Schwanen-

hals-Mikrofon sind in diesem Sinne uninteressant. Anders, als sonst bei der Aufnahme von Richtdiagrammen in Polarkoordinaten wurde auch nicht mit Sinustönen gemessen, sondern mit Rauschen und Analyse in Terzbandbreite.

Bei gleichartiger Beschallung aus dem Messlautsprecher mit 76 dB(A) am NTi-Messmikrofon errechnen sich für die verschiedenen Mikrofone und Schalleinfallrichtungen folgende mittlere Schallpegel und Pegeldifferenzen:

Mikrofon	0° bis 45°	60° bis 120°	135° bis 180°	Differenz seitlich	Differenz hinten
C1000 alt	67 dB(A)	62 dB(A)	54 dB(A)	5 dB	13 dB
C1000 neu	64 dB(A)	59 dB(A)	49 dB(A)	5 dB	15 dB
ACM 160/GM	82 dB(A)	76 dB(A)	66 dB(A)	6 dB	16 dB
SM58	58 dB(A)	51 dB(A)	44 dB(A)	7 dB	14 dB



C1000 alt und neu (oben), ACM 160/GM und SM58 (unten): mittlere Differenzen der Pegel seitlich und hinten gegen vorne

### Abbildung 7

Die seitliche Abminderung der Empfindlichkeit ist bei allen vier Mikrofonen fast gleich, beim SM58 aber merkwürdig ungleichmäßig. Die Abminderung nach hinten ist beim ACM 160/GM am stärksten. Das ist ja auch ein Mikrofon mit Nieren-Charakteristik, gegenüber Superniere bei den anderen.

---

7 Zusammenfassung

---

Im Zusammenhang mit Kirchenbeschallungen wird von den Auftraggebern immer wieder gewünscht, dass die Beschallungsanlage nicht nur eine gute Sprachverständlichkeit bei für den Gottesdienst angemessener Lautstärke erreichen soll, sondern dass sie auch für die Unterstützung von Live-Darbietungen, z. B. des Kinderchores oder von Krippenspielen, geeignet sein soll, ohne dass es dabei zu akustischen Rückkoppelungen kommt.

Im Zusammenhang mit der Neuplanung einiger Kirchen-Beschallungsanlagen wurde die Möglichkeit genutzt, einige zu Demonstrationszwecken vorhandene Mikrofone vergleichend zu untersuchen. Hierbei handelt es sich nicht um Untersuchungen im reflexionsfreien Schallmessraum wie bei den Mikrofon-Herstellern, sondern um „ingenieurmäßig vereinfachte“ Messungen.

Das „bühnenerprobte“ dynamische Mikrofon SM58 von Shure fiel bei diesen vergleichenden Messungen völlig ab, die beiden Kondensator-Supernieren von AKG machen ihre Sache gut, wobei die alte Baureihe noch um gut 3 dB empfindlicher ist als die neue. Besonders gut fiel bei dem Vergleich das Gruppenmikrofon ACM 160/GM auf, das ich erst kürzlich anlässlich von Einmessungen einer neuen Beschallungsanlage kennengelernt habe. Es ist extrem empfindlich und damit auch für eine Besprechung aus großem Abstand geeignet. Es hat einen breiten Einsprechbereich, wie man ihn sich bei Gruppenmikrofonen wünscht.



Dipl.-Ing. Carsten Ruhe  
hörgerecht planen und bauen  
Beratungsbüro für Akustik



untersuchte Mikrofon-Typen:

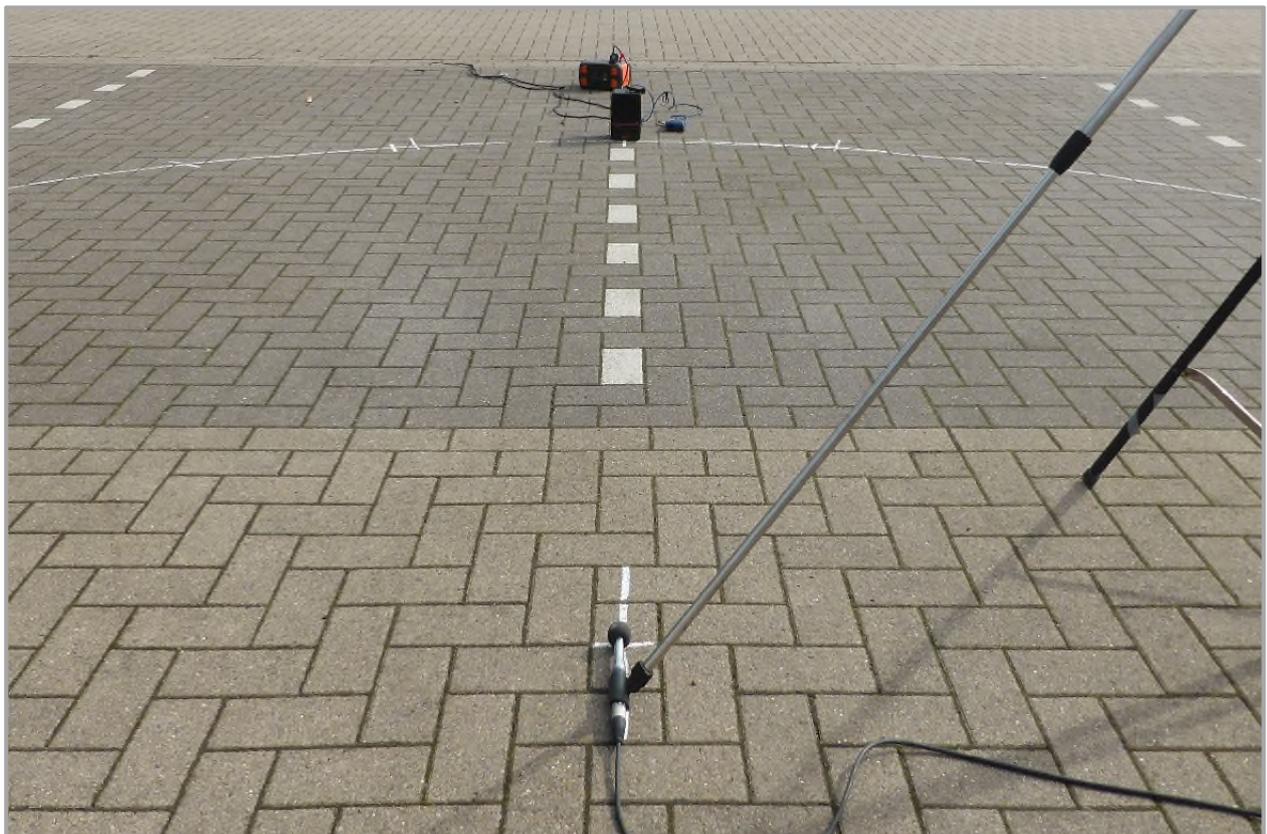
NTi ME 2211

AKG C1000S, alte Bauform

AKG C1000S, neue Bauform

AVE ACM 160 / GM SL

Shure SM58 Beta



Messaufbau  
Gesamt-Übersicht und Ausrichtung des Referenz-Mikrofons



**Messaufbau**  
Ausrichtung des ACM 160 / GM SL waagrecht und senkrecht



untersuchte Mikrofon-Typen:

NTi ME2211

AVE ACM 160/GM SL

Audio Technica ES915S



**Messaufbau**  
Ausrichtung von Lautsprecher und Mikrofon  
in 1,4 m Höhe und 2,0 m Abstand in der 0°-Position  
über einer Rasenfläche  
schallreflektierende Wände sind mehr als 10 m entfernt  
und von Lautsprecher sowie Mikrofon abgewandt